

تحلیل و شبیه‌سازی تاثیر ابعاد نانوذره ریبونی نقره و تغییرات ضریب شکست محیط بر روی بازدهی سلول خورشیدی سیلیکونی آمورف پلاسمونی

حامد افخم^۱، سعید علیائی^{۲*}، اسماعیل شریف کاظمی^۳

۱- دانشجوی کارشناس ارشد، ۲- استاد، آزمایشگاه تحقیقاتی نانوفوتونیک و اپتوالکترونیک،

۳- دانشجوی کارشناس ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

(دریافت: ۹۸/۰۱/۳۰، پذیرش: ۹۸/۰۴/۰۱)

چکیده

در این مقاله به بررسی و تحلیل رفتار سلول خورشیدی سیلیکونی آمورف پلاسمونی در مقابل تغییرات ابعاد نانوذره ریبونی نقره و نیز تاثیر تغییرات ضریب شکست محیط بر آن پرداخته می‌شود و پارامترهای مهمی مانند بازدهی شبیه‌سازی می‌شود. برای این منظور از روش تفاضل محدود حوزه زمان استفاده شده است. رفتار سلول خورشیدی در حالت با و بدون اعمال نانوذرات بررسی شده است. همچنین با تغییر ابعاد نانوذره نقره، بهترین حالت برای دستیابی به بیشترین بازدهی به دست آمده است. برای بررسی تاثیر ضریب شکست محیط بر عملکرد سلول خورشیدی پلاسمونی با تغییر ضریب شکست محیط از ۱ (هوا) تا ۱/۶، نمایه تزویج نور به نانوذره ریبون و ضریب جذب سیلیکون به دست آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که به ازای ضریب شکست ۱/۲، بازدهی ۱۲/۴۵ به دست آمده است.

کلیدواژه‌ها: بازدهی، سلول خورشیدی، سیلیکون آمورف، نانوذره ریبونی نقره

۱. مقدمه

انداختن نور باعث افزایش ضریب جذب و همچنین بازدهی تبدیل توان می‌شوند [۷]. به دام انداختن نور پلاسمونی از طریق عناصر فلزی به منظور افزایش کارایی سلول‌های خورشیدی است. استفاده از عناصر پلاسمونی نه تنها می‌تواند بهره‌وری سلول‌های خورشیدی را با به دام انداختن و یا تمرکز نور در لایه جذب بهبود ببخشد، بلکه می‌تواند به عنوان یک الکتروود ضد بازتاب ارزان در برخی از تنظیمات خدمت کند [۱۶-۱۵].

در سال ۲۰۱۴، در یکی از مطالعات انجام شده در مورد سلول‌های خورشیدی پلاسمونی، افزایش ۴۳٪ در بهبود جریان اتصال کوتاه مشاهده شده است [۱۷]. در تحقیق دیگری افزایش میزان جذب ۴۵/۷٪ در سلول‌های خورشیدی پلاسمونی نسبت به سیلیکونی ساده مشاهده شده است [۱۸]. در پژوهشی که توسط وینانس و همکارانش در سال ۲۰۱۵ صورت گرفت، اثرات پلاسمونی در سلول‌های خورشیدی فوق نازک سیلیکونی آمورف مورد بررسی قرار گرفت [۱۹]. آنها با قرار دادن نانوذرات نقره بر روی جلو و پشت سلول خورشیدی بهبود عملکرد سلول خورشیدی را از جمله در چگالی جریان آن اندازه‌گیری کردند. نتایج عملی این ساختار با نتایج شبیه‌سازی حاصل از روش تفاضل متناهی حوزه زمان نیز مقایسه شده است [۱۹].

ساختارهای ریبون در چند سال گذشته در سلول‌های

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر یکی از اولویت‌های زندگی امروزی محسوب می‌شود و از این رو گرایش به سمت سلول‌های خورشیدی همواره رو به رشد بوده است. یکی از انواع سلول‌های خورشیدی، سلول‌های بر پایه سیلیکون آمورف هستند [۶-۱]. در مواد آمورف اتم‌های مختلف در یک شبکه در نوع شکاف باند تفاوت دارند. هماهنگی باند یک اتم در این مواد با نزدیک‌ترین همسایگان خود شبیه به مواد کریستالی است ولی با فاصله گرفتن این شباهت‌ها کاهش پیدا می‌کند. این اختلاف سبب می‌شود که انرژی مورد نیاز حرکت از یک ناحیه به ناحیه دیگر مشخص نباشد. سیلیکون آمورف برخلاف سیلیکون کریستالی دارای شکاف باند مستقیم و ضریب جذب بالاست [۷]. از روش‌های بهبود سلول‌ها استفاده از ساختارهای پلاسمونی و نقاط کوانتومی است [۱۴-۸].

به‌طور کلی دو نوع ساختار پلاسمونی وجود دارد؛ پلاسمون‌های سطحی محلی و پلاسمون‌های پلاریتون سطحی. تفاوت این دو ساختار در این است که برخلاف نوع اول که در یک محل ثابت است، نوع دوم قابل انتشار است. ساختارهای پلاسمونی با به‌دام

* نویسنده پاسخگو: s_olyaee@sru.ac.ir

بخار آب در حدود ۱/۳ و ضریب شکست کربن (دود) در حدود ۲ در بازه طول موجی طیف خورشید هستند، این بازه انتخابی ضریب شکست معقول به نظر می‌رسد. در ادامه به اختصار به بررسی روابط در نانو ذرات فلزی پرداخته می‌شود.

ذرات فلزی دارای الکترون آزاد با چگالی غلظت N با مرتبه 10^{28}m^{-3} هستند. با این چگالی بالا، خواص نوری فلز به الکترون‌های قرار گرفته در نوار هدایت بستگی پیدا می‌کند. پاسخ فلز به تابش الکترومغناطیس به صورت زیر است [۲۵]:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 \epsilon(\omega) \quad (1)$$

که در آن، \vec{D} بردار جابه‌جایی الکتریکی، \vec{E} میدان الکتریکی، \vec{P} قطبش الکتریکی، ϵ_0 و $\epsilon(\omega)$ به ترتیب گذردهی دی‌الکتریک خلأ و ماده است. الکترون‌ها با اعمال میدان الکترومغناطیسی نوسان می‌کنند و به دلیل برخوردهای بین الکترون‌ها نوسانات میرا شونده با ثابت $\gamma = 1/\tau$ اتفاق می‌افتد (τ متوسط زمان بین برخوردهای متوالی است و مرتبه γ در حدود 10^{14}s^{-1} است). با فرض میدان الکترومغناطیسی نوسانی به شکل:

$$\vec{E}(t) = \vec{E}_0 e^{-i\omega t} \quad (2)$$

حرکت الکترون‌ها به شکل معادله نوسانی زیر قابل تعریف است [۲۷-۲۵]:

$$m \frac{\partial^2 \vec{x}}{\partial t^2} + m\gamma \frac{\partial \vec{x}}{\partial t} = -e\vec{E}_0 e^{-i\omega t} \quad (3)$$

که در آن، m جرم مؤثر الکترون و q بار الکترون است و پاسخ آن طبق رابطه (۴) است:

$$\vec{x}(t) = \frac{q}{m(\omega^2 + i\gamma\omega)} \vec{E}_0 e^{-i\omega t} \quad (4)$$

در قطبش \vec{P} خواهیم داشت:

$$\vec{P} = -Ne\vec{x} = -\frac{e^2 N}{m(\omega^2 + i\gamma\omega)} \vec{E}_0 e^{-i\omega t} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \vec{E}_0 \vec{D} &= \epsilon_0 \left(1 - \frac{e^2 N}{\epsilon_0 m(\omega^2 + i\gamma\omega)} \right) \vec{E}_0 e^{-i\omega t} \\ &= \epsilon_0 \left(1 - \frac{\omega_p^2}{(\omega^2 + i\gamma\omega)} \right) e^{-i\omega t} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\omega_p^2 = \frac{e^2 N}{\epsilon_0 m} \quad (7)$$

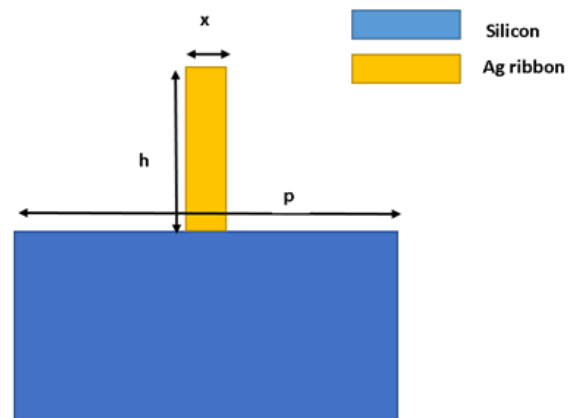
ω_p^2 در این روابط، فرکانس پلاسمای الکترون آزاد است. با استفاده از این معادلات تابع دی‌الکتریک با فرض ($\omega \gg \gamma$) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\epsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2} \quad (8)$$

خورشیدی گرافنی در جهت برقراری پیوند بین گرافن و سیلیکون مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۰-۲۱]. به لحاظ علمی ساختار ریبون بیشتر برای ساختار باز شده نانولوله کربنی به کار می‌رود و ساختاری صفحه‌ای مانند دارد. ساخت ساختارهای ریبون نیز در سال‌های اخیر مورد مطالعه قرار گرفته و روش‌هایی نیز برای بهبود در ساخت این‌گونه ساختارها ارائه شده است [۲۲-۲۴]. در این مقاله استفاده از ساختارهای ریبون در سلول‌های خورشیدی پلاسمونی ارائه شده است. در این تحقیق به بررسی تاثیر ضریب شکست محیط بر روی سلول‌های خورشیدی که بر روی آن نانو ذرات ریبون نقره قرار گرفته است، پرداخته شده است. همچنین تغییرات بهره به ازای تغییر ابعاد نانوذرات مورد بررسی قرار گرفته و برای داشتن بیشینه جذب سلول خورشیدی، ابعاد نانوذره و ضریب شکست محیط مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است.

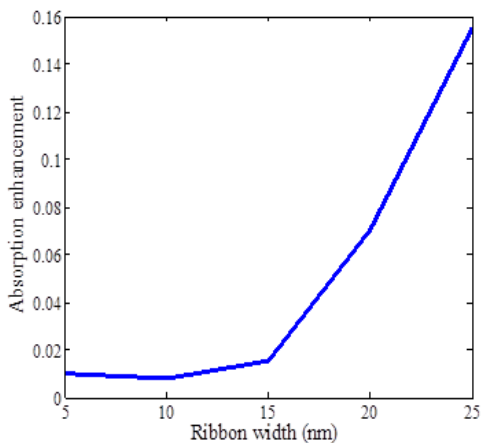
۲. مبانی ساختار و روابط حاکم

برای شبیه‌سازی نانوذره ریبون از یک ساختار دوبعدی با ضخامت معین در راستای x و y و ضخامت ناچیز (حدود صفر) در راستای z استفاده شده است. برای این امر از شبیه‌سازی (ناحیه FDTD) دوبعدی استفاده شده است. در واقع تفاوت نانوذره ریبون با نانوذره مکعب مستطیل در این است که نانوذره ریبون حالت صفحه‌ای نانوذره مکعب مستطیل است. شکل (۱) طرح‌واره نانوذره ریبون نقره با عرض x و ارتفاع h بر روی لایه سیلیکونی با دوره تناوب p را نشان می‌دهد. در این مقاله از نرم‌افزار لومریکال برای شبیه‌سازی بخش نوری و از نرم‌افزار سیلواکو برای بخش شبیه‌سازی الکتریکی استفاده شده است.

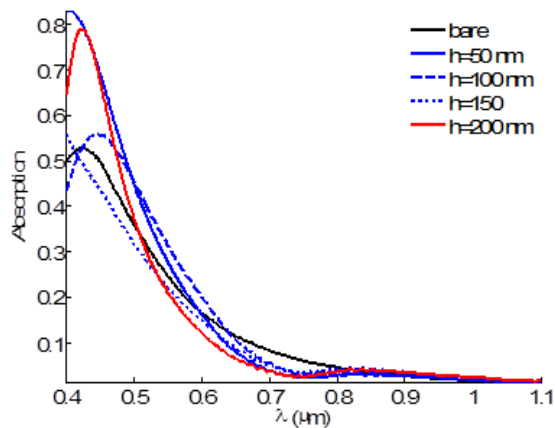


شکل (۱): طرح‌واره نانوذره ریبون نقره بر روی لایه سیلیکونی

برای بررسی تاثیر ضریب شکست محیط بر عملکرد سلول خورشیدی پلاسمونی با تغییر ضریب شکست محیط از ۱ (هوا) تا ۱/۶، نمایه (پروفایل) تزویج نور به نانوذره ریبون و ضریب جذب سیلیکون به دست آورده شده است. از آنجا که ضریب شکست



شکل (۳): میزان بهبود جذب نسبت به حالت بدون نانوذره بر اساس عرض نانوذره نقره



شکل (۴): منحنی جذب لایه سیلیکونی نسبت به طول موج برای طول ۵۰ nm تا ۲۰۰ nm نسبت به حالت بدون نانوذره

همچنین در طول ۱۵۰ nm در اکثر طول موج‌ها جذبی نسبت به حالت بدون نانوذره قابل مشاهده نیست. در شکل (۵) جذب در حضور نانوذره نسبت به جذب در حالت بدون نانوذره در طول‌های مختلف مقایسه شده است. بیشترین میزان جذب در طول ۵۰ nm مشاهده شده است. همچنین در طول ۱۵۰ nm میزان بهبود جذب نسبت به حالت بدون نانوذره منفی شده است.

در شکل (۶) منحنی جذب لایه سیلیکونی نسبت به طول موج برای عرض ۲۵ nm و طول ۵۰ nm و مقادیر مختلف دوره تناوب نانوذره نقره نشان داده شده است. بر این اساس برای دوره تناوب ۵۰ nm بیشترین تشدید پلاسمونی و در نتیجه بالاترین مقدار جذب مشاهده می‌شود. با افزایش دوره تناوب به ۷۵ nm و ۱۰۰ nm بیشینه جذب در طول موج ۴۰۰ nm کاهش می‌یابد.

همچنین تاثیر دوره تناوب نانوذره نقره بر بهبود جذب نسبت به حالت بدون نانوذره در شکل (۷) نشان داده شده است. در دوره تناوب بیشتر از ۵۰ nm به دلیل کاهش چگالی تشدید پلاسمونی،

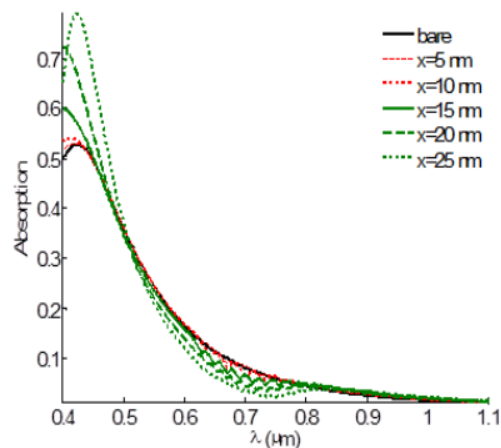
نتیجه‌ای که در معادله (۸) به دست می‌آید تنها برای فرکانس‌های فرورسرخ نزدیک صدق می‌کند (فرکانس پلاسمای طلا و نقره معادل با طول موج ۱۴۵ nm است).

در حالتی که فلزات از واحدهای کوچک‌تر از طول موج ماده مانند ذرات تشکیل شده باشند، امواج پلاسمون‌ها تا وقتی که موضعی باشند شرایط منتشر شدن در این واحدها را نخواهند داشت. از جنبه‌های این تحرکات جمعی استفاده از آن‌ها در متمرکز کردن نور و همچنین افزایش انتقال در حفره‌های زیر طول موج است [۷].

۳. بررسی و شبیه‌سازی تاثیر ابعاد نانوذره

برای بررسی ابعاد، ابتدا نانوذره با طول ۲۰۰ nm و دوره تناوب ۵۰ nm با عرض‌های مختلف بررسی می‌شود. شکل (۲) منحنی جذب لایه سیلیکون نسبت به طول موج برای عرض‌های مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل بیشترین بهبودی در جذب در طول موج‌های ۴۰۰ nm تا ۵۵۰ nm حاصل شده است. در طول موج‌های بالاتر به دلیل عبور بالای سیلیکون و همچنین تلفات پلاسمونی بهبودی در جذب قابل مشاهده نیست.

بر اساس شکل (۳)، در طول ۲۰۰ nm و دوره تناوب ۵۰ nm از عرض ۱۵ nm تا ۲۵ nm، با افزایش عرض نانوذره جذب بهبود می‌یابد. همچنین تا عرض ۱۵ nm بهبودی قابل ملاحظه‌ای در جذب مشاهده نمی‌شود. شکل (۴) منحنی جذب لایه سیلیکون با نانوذره نقره با عرض ۲۵ nm و دوره تناوب ۵۰ nm در طول‌های مختلف را نشان می‌دهد. در طول ۵۰ nm بیشترین جذب در طول موج‌های بین ۴۰۰ nm تا ۶۰۰ nm به دست آمده است.



شکل (۲): منحنی جذب لایه سیلیکون نسبت به طول موج برای عرض‌های مختلف نانوذره

۴. بررسی و شبیه‌سازی ساختار

در این بخش به شبیه‌سازی میزان تزویج نور پرداخته شده و شدت نور جذبی به‌هنگار شده به شدت نور ورودی بیان می‌شود. تزویج نور خورشید به نانوذره ریبون با عرض ۲۵nm، ارتفاع ۵۰nm، دوره تناوب ۵۰ nm در طول موج‌های ۴۰۰nm، ۵۰۰nm و ۶۰۰ nm در شکل (۸) نشان داده شده است. ضریب شکست محیط ۱/۲ در نظر گرفته شده است.

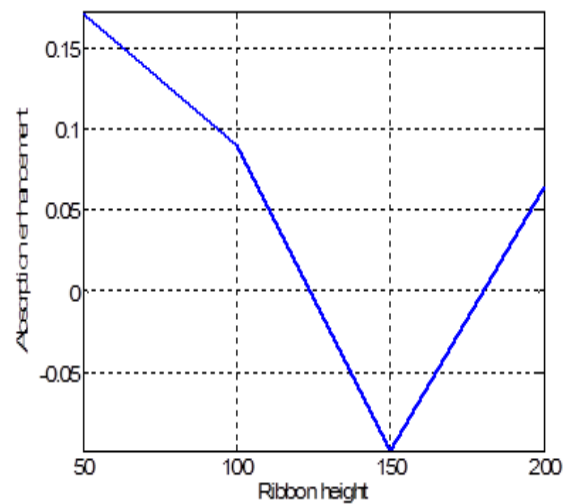
سایر طول موج‌ها به دلیل عدم تحریک پلاسمونی بررسی نشده‌اند. شکل (۸-الف)، تزویج نور خورشیدی به نانو ذره ریبون در طول موج ۴۰۰nm را نشان می‌دهد. در سطح بالایی نانوذره بیشترین شدت نور تزویج شده با شدت به‌هنگار شده حدود 8×10^{-2} رخ داده است؛ در طول موج ۴۰۰nm به‌ازای ضریب شکست محیط ۱/۲ افزایش جذب مناسبی مشاهده می‌شود. در شکل (۸-ب)، تزویج نور خورشیدی به نانو ذره ریبون در طول موج ۵۰۰nm نشان داده شده است. بیشترین شدت نور تزویجی به‌هنگار شده، 11×10^{-2} است.

شکل (۸-ج)، تزویج نور خورشیدی به نانو ذره ریبون در طول موج ۶۰۰nm را نشان می‌دهد. حداکثر شدت نور تزویج شده 22×10^{-2} است. برای طول موج ۶۰۰ nm شدت و چگالی تزویج نور به گوشه پایین نانوذره افزایش چشم‌گیری یافته است. همین‌طور شدت نور تزویج شده به گوشه‌های بالایی نانوذره افت محسوسی کرده است. میزان بهبود جذب در طول موج ۴۰۰nm بیشتر از طول موج ۶۰۰ nm است. با فرض ضریب جذب و عبور برابر سیلیکون در دو طول موج ۵۰۰ nm و ۶۰۰nm میزان بهبود جذب در طول موج ۶۰۰nm بیشتر از طول موج ۵۰۰nm است.

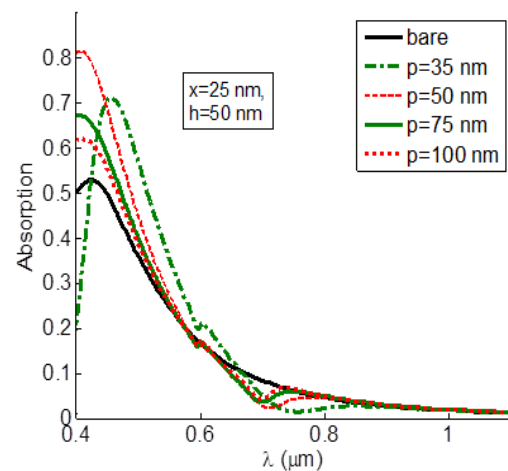
نتایج شبیه‌سازی برای تزویج نور خورشید به نانوذره ریبون با عرض ۲۵ nm، ارتفاع ۵۰ nm، دوره تناوب ۵۰ nm در طول موج‌های ۴۰۰ nm، ۵۰۰ nm و ۶۰۰ nm نیز انجام شده است. ضریب شکست محیط ۱/۴ در نظر گرفته شده است. مطابق شکل (۹)، نتایج نشان می‌دهد که در طول موج ۴۰۰ nm بیشترین شدت نور تزویج شده به نانوذره در سطح بالایی نانوذره با شدت خیلی زیاد برای ضریب شکست محیط ۱/۲ رخ می‌دهد. بیشترین شدت نور به سطح بالایی نانوذره ریبون نیز در طول موج ۴۰۰nm رخ می‌دهد با این تفاوت که شدت نور تزویج شده در ضریب شکست ۱/۴ بیشتر از ضریب شکست ۱/۲ است.

در این حالت بیشینه شدت نور تزویجی به‌هنگار شده 9×10^{-2} است. در طول موج ۴۰۰nm، به‌ازای ضریب شکست محیط ۱/۴ جذب بیشتری نسبت به ضریب شکست ۱/۲ خواهیم داشت. در بررسی صورت گرفته برای تزویج نور خورشیدی به نانوذره ریبون در طول موج ۵۰۰nm، بیشینه شدت نور تزویجی

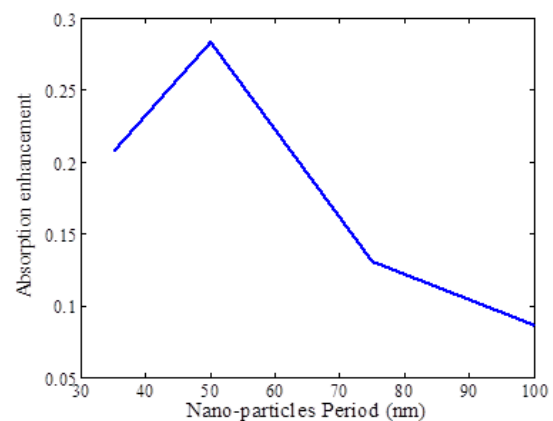
میزان بهبود جذب در لایه سیلیکونی کاهش می‌یابد.



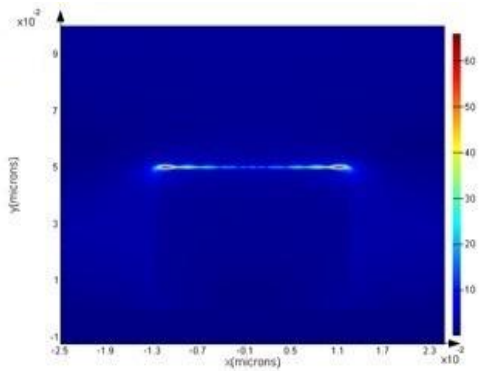
شکل (۵): میزان بهبود جذب نسبت به حالت بدون نانوذره بر اساس طول نانوذره



شکل (۶): منحنی جذب لایه سیلیکونی نسبت به طول موج برای عرض ۲۵nm و طول ۵۰nm و مقادیر مختلف دوره تناوب نانوذره نقره



شکل (۷): تاثیر دوره تناوب نانوذره نقره بر بهبود جذب نسبت به حالت بدون نانوذره برای عرض ۲۵nm و طول ۵۰nm



شکل (۹): نمایه تزیویج نور خورشید به نانوذره ریبون در عرض ۲۵nm، ارتفاع ۵۰nm، دوره تناوب ۵۰nm، ضریب شکست ۱/۴ و در طول موج ۴۰۰nm

در طول موج ۶۰۰nm همانند ضریب شکست ۱/۲، نور به گوشه پایین نانوذره تزیویج می‌شود که شدت و چگالی نور با تغییر ضریب شکست از ۱/۲ به ۱/۴ اندکی افزایش می‌یابد. با فرض ضریب جذب و ضریب عبور برابر سیلیکون در سه طول موج ۴۰۰nm، ۵۰۰nm و ۶۰۰nm، میزان بهبود جذب در طول موج ۶۰۰nm بیشتر از طول موج ۶۰۰nm و در طول موج ۵۰۰nm است.

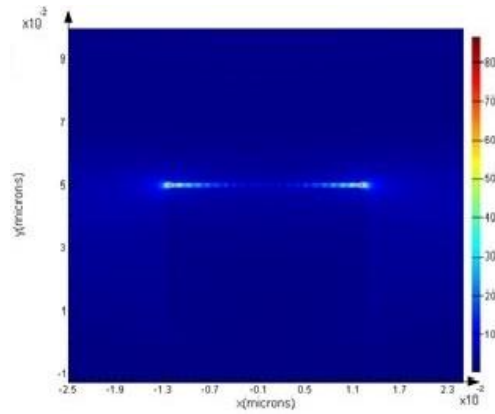
این شبیه‌سازی برای تزیویج نور خورشید به نانوذره ریبون با عرض ۲۵nm، ارتفاع ۵۰nm و دوره تناوب ۵۰nm در طول موج‌های ۴۰۰nm، ۵۰۰nm و ۶۰۰nm با در نظر گرفتن ضریب شکست محیط ۱/۶ تکرار شده است که نتایج شبیه‌سازی آن در شکل (۱۰) آمده است.

درحالی‌که ضریب شکست ۱/۶ در نظر گرفته‌شود، تزیویج نور مانند دو ضریب شکست محیط ۱/۲ و ۱/۴ است. در طول موج ۴۰۰nm، بیشترین شدت نور تزیویج شده به‌ترتیب مربوط به ضریب شکست‌های ۱/۴، ۱/۲ و ۱/۶ است. برای طول موج‌های ۵۰۰nm و ۶۰۰nm، بیشترین شدت نور تزیویج شده به‌ترتیب مربوط به ضریب شکست‌های ۱/۶، ۱/۴ و ۱/۲ است.

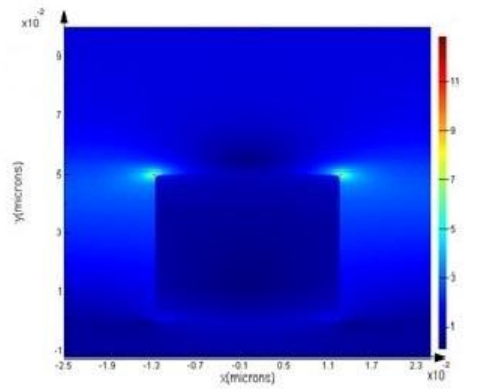
با فرض ضریب جذب و ضریب عبور برابر سیلیکون در سه طول موج ۴۰۰nm، ۵۰۰nm و ۶۰۰nm، میزان بهبود جذب در طول موج ۴۰۰nm بیشتر از طول موج ۶۰۰nm و در طول موج ۶۰۰nm بیشتر از طول موج ۵۰۰nm است. برای تحلیل جذب در لایه سیلیکونی علاوه بر تشدید پلاسمونی در نانوذره، لازم است جذب، عبور و بازتاب از سطح (نانوذره و سیلیکون) در نظر گرفته شود.

منحنی جذب لایه سیلیکونی نسبت به طول موج برای نانوذره ریبون با عرض ۲۵nm، ارتفاع ۵۰nm، دوره تناوب ۵۰nm و مقادیر مختلف ضریب شکست محیط در شکل (۱۱) نشان داده شده است. منحنی جذب برای حالت بدون نانوذره و با حضور نانو

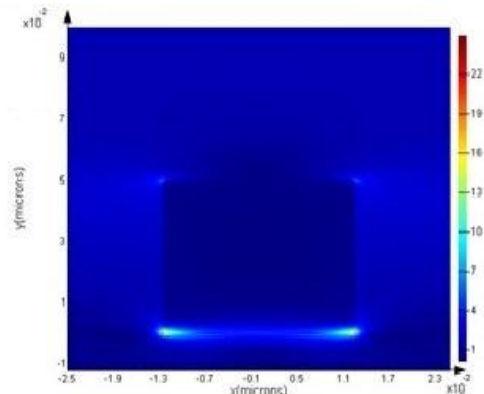
به‌هنگار شده برابر 25×10^{-2} است. در طول موج ۵۰۰nm نسبت به طول موج ۴۰۰nm، شدت نور تزیویج شده حدود ۴ برابر کاهش یافته و بیشتر به گوشه‌های بالای نانوذره تزیویج می‌شود. در طول موج ۵۰۰nm، شدت نور تزیویج شده در ضریب شکست ۱/۴ بیش از دو برابر ضریب شکست ۱/۲ است. بیشینه شدت نور تزیویجی به‌هنگار شده در تزیویج نور خورشیدی به نانو ذره ریبون در طول موج ۶۰۰nm نیز معادل 28×10^{-2} است.



(الف)



(ب)



(ج)

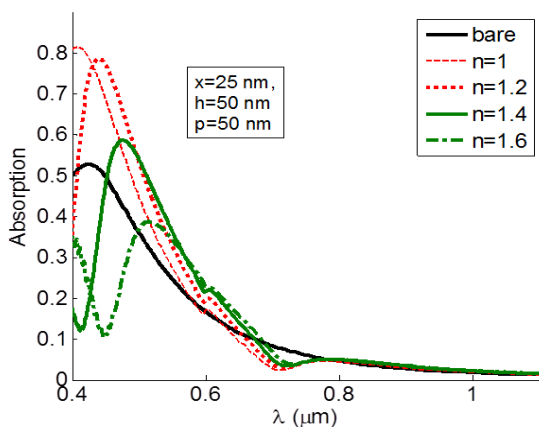
شکل (۸): نمایه تزیویج نور خورشید به نانوذره ریبون در عرض ۲۵nm، ارتفاع ۵۰nm، دوره تناوب ۵۰nm، ضریب شکست ۱/۲ و در طول موج‌های مختلف (الف) ۴۰۰nm، (ب) ۵۰۰nm و (ج) ۶۰۰nm

نوسانات موجود در جذب سیلیکون در طول موج‌های کمتر از ۵۵۰ nm و حدود ۷۰۰ nm به دلیل پراکندگی و رفتار پلاسمونی نانو ذرات است. در محیط هوا تا طول موج ۶۰۰ nm بهبود جذب مناسبی مشاهده شده است و فقط در بازه ۶۳۰ nm تا ۷۷۰ nm دره‌ای ایجاد شده که در آن، جذب نسبت به حالت بدون نانوذره کاهش یافته است. بیشینه جذب در محیط با ضرایب شکست ۱/۲، ۱/۴ و ۱/۶ به ترتیب در طول موج‌های ۴۴۰ nm، ۴۷۰ nm و ۵۱۵ nm به دست می‌آید.

بنابراین، با افزایش ضریب شکست محیط نانوذره، طول موج بیشینه جذب در لایه سیلیکون به طول موج‌های بالاتر منتقل شده است. برای طول موج‌های کمتر از طول موج بیشینه جذب، به دلیل پراکندگی نانوذره و تغییر مشخصات نوری جذب کاهش یافته است.

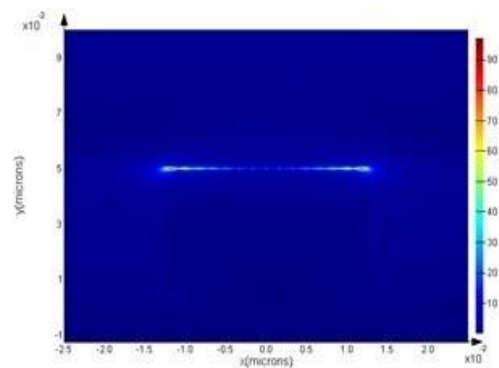
شکل (۱۲) تأثیر ضریب شکست محیط بر بهبود جذب لایه سیلیکون را نشان می‌دهد. بالاترین جذب در ضریب شکست محیط ۱/۲ به دست آمده است. برای ضریب شکست ۱/۴ و ۱/۶ ضریب جذب منفی است و نسبت به حالت بدون نانوذره جذب کاهش یافته است. طبق شکل‌های (۲-۴)، بیشترین شدت نور تزویج شده در ضریب شکست ۱/۲ نسبت به ۱/۴ و ۱/۶ رخ می‌دهد و طبق شکل (۱۲) از طول موج ۴۴۰ nm تا حدود ۷۰۰ nm جذب سیلیکون در محیط با ضریب شکست ۱/۲ بیشتر از هوا است.

شکل (۱۳)، منحنی مشخصه جریان-ولتاژ سلول خورشیدی سیلیکونی با نانوذره ریبون به عرض ۲۵ nm، ارتفاع ۵۰ nm، دوره تناوب ۵۰ nm و مقادیر مختلف ضریب شکست محیط را نشان می‌دهد. در این شکل، جریان-ولتاژ برای حالت بدون نانوذره و با حضور نانو ذره در محیط هوا و محیط با ضرایب شکست ۱/۲ و ۱/۴ بررسی شده است.

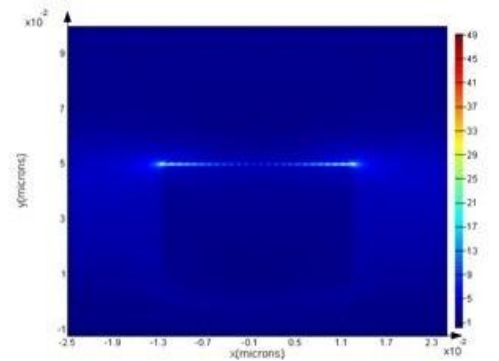


شکل (۱۱): منحنی جذب لایه سیلیکونی نسبت به طول موج برای ارتفاع ۵۰ nm، عرض ۲۵ nm و مقادیر مختلف دوره تناوب نانو ذرات ریبون

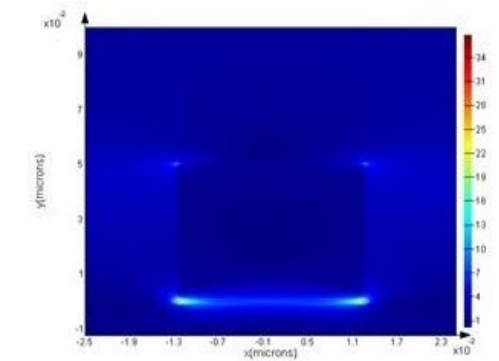
ذرات در محیط هوا و محیط با ضرایب شکست ۱/۲، ۱/۴ و ۱/۶ بررسی شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۱۰). نمایه تزویج نور خورشید به نانوذره ریبون در عرض ۲۵ nm، ارتفاع ۵۰ nm، دوره تناوب ۵۰ nm، ضریب شکست ۱/۶ و در طول موج‌های مختلف (الف) ۴۰۰ nm، (ب) ۵۰۰ nm و (ج) ۶۰۰ nm

با افزایش طول موج، جذب و بازتاب از سطح سیلیکون به ترتیب به دلیل کاهش بخش‌های موهومی و حقیقی ضریب شکست، کاهش می‌یابد. با افزایش ضریب شکست محیط نانوذره، ضریب شکست سیلیکون به ضریب شکست محیط نزدیک‌تر شده و میزان بازتاب از سطح سیلیکون کاهش و در نتیجه جذب نسبت به حالت هوا ($n=1$) افزایش می‌یابد. در شکل (۱۱) برای ضرایب شکست ۱/۲، ۱/۴ و ۱/۶ به ترتیب در طول موج‌های بزرگ‌تر از ۴۴۰ nm، ۴۷۰ nm و ۵۱۵ nm افزایش جذب و کاهش بازتاب رخ داده است.

جدول (۱): پارامترهای سلول خورشیدی سیلیکونی لایه‌نازک برای مقادیر مختلف ضریب شکست محیط نانوذره

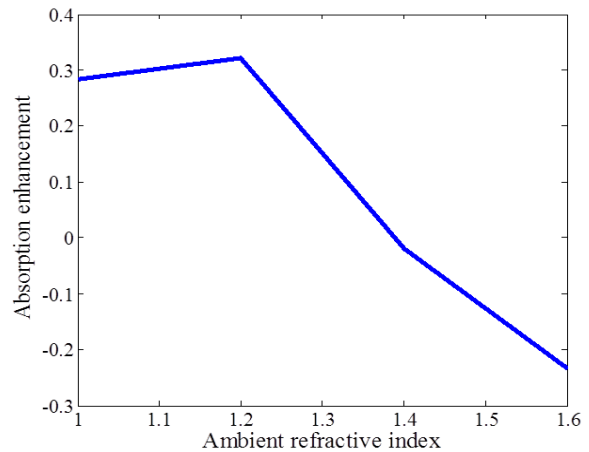
ضریب شکست	J_{sc}	V_{OC}	P_{max}	FF	η
Bare	۵/۲۳	۰/۲۱	۰/۷۰	۶۳/۳۵	۹/۴۲
۱	۶/۷۱	۰/۲۱	۰/۹۰	۸۱/۳۱	۱۲/۰۹
۱/۲	۶/۹۱	۰/۲۱	۰/۹۲	۸۳/۷۳	۱۲/۴۵
۱/۴	۵/۱۲	۰/۲۱	۰/۶۹	۶۲/۰۸	۹/۲۳
۱/۶	۴/۰۱	۰/۲۱	۰/۵۴	۴۸/۵۷	۷/۲۲
واحد	mA/cm^2	V	mW/cm^2	%	%

۵. نتیجه‌گیری

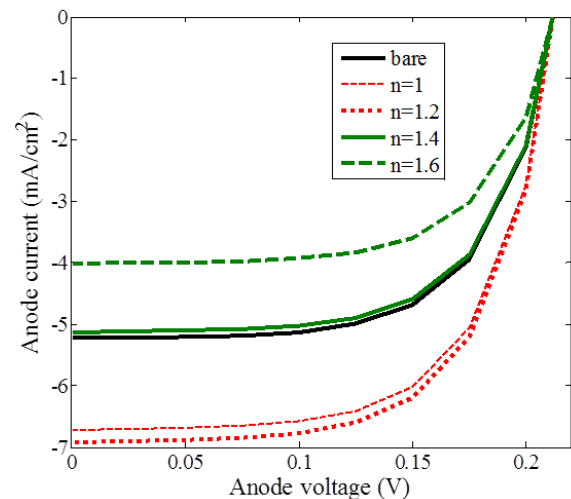
در این مقاله به بررسی اثرات تغییر ابعاد نانوذرات ریبونی نقره و تغییرات ضریب شکست محیط بر روی عملکرد سلول خورشیدی سیلیکونی پرداخته شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که چگونه این نانو ذرات در محیط‌های مختلف باعث بهبود کارایی دستگاه می‌شوند. استفاده از مواد با ضریب شکست‌های مختلف در بعضی از موارد باعث کاهش بازدهی می‌شود که لازم است در طراحی به آن توجه داشت. نتایج شبیه‌سازی ساختار نشان داد که با انتخاب ضریب شکست ۱/۲ مقدار بازدهی سلول خورشیدی به حدود ۱۲/۴۵ می‌رسد. همچنین بهترین ابعاد نانوذره برای دستیابی به بازدهی بیشتر سلول خورشیدی به دست آمد.

۶. مراجع

- [1] T. Matsui, A. Bidiville, K. Maejima, H. Sai, T. Koida, T. Suezaki, M. Matsumoto, K. Saito, I. Yoshida, and M. Kondo, "High-efficiency amorphous silicon solar cells: Impact of deposition rate on metastability," Applied Physics Letters, vol. 106, no. 5, pp. 1060-1063, 2015.
- [2] W. Qarony, M. I. Hossain, M. K. Hossain, M. J. Uddin, A. Haque, A. R. Saad, and Y. H. Tsang, "Efficient amorphous silicon solar cells: characterization, optimization, and optical loss analysis," Results in Physics, vol. 7, pp. 4287-4293, 2017.
- [3] C. Zhang, D. O. Guney, and J. M. Pearce, "Plasmonic enhancement of amorphous silicon photovoltaic cells with hexagonal silver arrays made with nanosphere lithography," Materials research express, vol. 3, no. 10, 2016.
- [4] K. L. Chopra and S. R. Das, "Amorphous Silicon Solar Cells," Springer US, ISBN: 978-0-306-41141-0, 1983.
- [5] M. Iqbal Kabir, S. A. Shahahmadi, V. Lim, S. Zaidi, K. Sopian, and N. Amin, "Amorphous Silicon Single-Junction Thin-Film Solar Cell Exceeding 10% Efficiency by Design



شکل (۱۲): تأثیر ضریب شکست محیط بر بهبود جذب لایه سیلیکون



شکل (۱۳): منحنی مشخصه جریان-ولتاژ سلول خورشیدی سیلیکونی برای مقادیر مختلف ضریب شکست محیط نانوذره

با افزایش ضریب شکست محیط تا ۱/۲، بازتاب از سطح سیلیکون کاهش و در نتیجه جذب و جریان نوری نسبت به حالت محیط هوا افزایش می‌یابد، بنابراین، در محیط با ضریب شکست ۱/۲ بالاترین جذب و جریان نوری و بازدهی را داریم. برای ضرایب شکست ۱/۴ و ۱/۶ به دلیل پراکندگی و تلفات پلاسمونی نانو ذرات، جریان نوری کاهش یافته است. برای ضریب شکست ۱/۴ و ۱/۶ ضریب بهبود جذب منفی است پس نسبت به حالت بدون نانوذره جریان نوری کاهش یافته است.

در جدول (۱)، پارامترهای سلول خورشیدی سیلیکونی با حضور نانوذره در محیط هوا و محیط با ضرایب شکست ۱/۲، ۱/۴ و ۱/۶ بیان شده است. همان‌طور که مشخص شده است، به‌ازای ضریب شکست ۱/۲ مقدار بازدهی ۱۲/۴۵ به‌دست آمده است.

- [16] A. Akimov Yuriy and W. Shing Koh, "Design of plasmonic nanoparticles for efficient subwavelength light trapping in thin-film solar cells," *Plasmonics*, vol. 6, no. 1, pp. 155-161, 2011.
- [17] Wen, Long, Fuhe Sun, and Qin Chen, "Cascading metallic gratings for broadband absorption enhancement in ultrathin plasmonic solar cells," *Applied Physics Letters*, vol. 104, no. 15, 151106, 2014.
- [18] P. Reineck, G. P. Lee, D. Brick, M. Karg, P. Mulvaney, and U. Bach, "A solid-state plasmonic solar cell via metal nanoparticle self-assembly," *Advanced Materials*, vol. 24, no. 35, pp. 4750-4755, 2012.
- [19] J. D. Winans, C. Hungerford, K. Shome, L. J. Rothberg, and P. M. Fauchet, "Plasmonic effects in ultrathin amorphous silicon solar cells: performance improvements with Ag nanoparticles on the front, the back, and both," *Optics Express*, vol. 23, no. 3, p. A92, 2015.
- [20] G. Le Lay, B. Aufray, C. Léandri, H. Oughaddou, J-P. Biberian, P. De Padova, M. E. Dávila, B. Ealet, and A. Kara, "Physics and chemistry of silicene nano-ribbons," *Applied Surface Science*, vol. 256, no. 2, pp. 524-529, 2009.
- [21] Warner, G. Marvin, and J. E. Hutchison, "Linear assemblies of nanoparticles electrostatically organized on DNA scaffolds," *Nature Materials*, vol. 2, no. 4, p. 272, 2003.
- [22] L. D. Yun, J. T. Pham, J. Lawrence, C. Hee Lee, C. Parkos, T. Emrick, and A. J. Crosby, "Macroscopic nanoparticle ribbons and fabrics," *Advanced materials*, vol. 25, no. 9, pp. 1248-1253, 2013.
- [23] D. Zhang, X. Yang, X. Hong, Y. Liu, and J. Feng, "Aluminum nanoparticles enhanced light absorption in silicon solar cell by surface plasmon resonance," *Optical and Quantum Electronics*, vol. 47, no. 6, pp. 1421-1427, 2015.
- [24] S. I. Bozhevolnyi, "Plasmonic Nanoguides and Circuits (Singapore: Pan Stanford)," publishing 2009.
- [25] H. W. H. Lee, "Plasmonic Photonic Crystal Fiber," PhD Thesis, Max Planck Institute, 2012.
- [26] A. A. Maradudin, "Introduction: plasmonics and its building blocks," *Handbook of Surface Science*, vol. 4, North-Holland, pp. 1-36, 2014.
- [27] G. Orellana and M. C. Moreno-Bondi, "Frontiers in chemical sensors: novel principles and techniques," *Springer Science & Business Media*, vol. 3, 2006.
- Optimization," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2012, Article ID 460919, 7 pages, 2012.
- [6] C. Zhang, J. Gwamuri, S. Cvetanovic, M. Sadatgol, D. Guney, and J. M. Pearce, "Enhancement of hydrogenated amorphous silicon solar cells with front-surface hexagonal plasmonic arrays from nanoscale lithography," *Journal of Optics*, vol. 19, no. 7, 2017.
- [7] Z. Zalevsky and I. Abdulhalim, "Integrated nanophotonic devices," Elsevier, 2014 ISBN: 978-1-4377-7848-9, 2014.
- [8] E. Ghahremanirad, S. Olyaei, and M. Hedayati, "The influence of embedded plasmonic nanostructures on optical absorption of perovskite solar cells," *Photonics*, vol. 6, AN. 37, pp. 1-8, 2019.
- [9] E. Ghahremanirad, S. Olyaei, A. Abdollahi Nejang, P. Nazari, V. Ahmadi, and K. Abedi, "Improving the performance of perovskite solar cells using kesterite mesostructure and plasmonic network," *Solar Energy*, vol. 169, pp. 498-504, 2018.
- [10] E. Ghahremanirad, S. Olyaei, A. Abdollahi Nejang, V. Ahmadi, and K. Abedi, "Hexagonal array of mesoscopic HTM based perovskite solar cell with embedded plasmonic nanoparticles," *Physica Status Solidi B: Basic Solid State Physics*, vol. 255, no. 3, pp. 1-8, 2018.
- [11] E. Ghahremanirad, A. Bou, S. Olyaei, and J. Bisquert, "Inductive loop in the impedance response of perovskite solar cells explained by surface polarization model," *Journal of Physical Chemistry Letters*, vol. 8, no. 7, pp. 1402-1406, 2017.
- [12] S. Olyaei and F. Farhadipour, "Investigation of hybrid Ge QDs/ Si nanowires solar cell with improvement in cell efficiency," *Optica Applicata*, vol. 48, no. 4, pp. 633-645, 2018.
- [13] E. Sharif-Kazemi, S. Olyaei, and H. Afkham, "Investigation and simulation of the refractive index effect on the plasmonic amorphous silicon solar cells with silver ribbon nanoplate," *Applied Physics*, In Press, 2019. (In Persian)
- [14] S. Olyaei, F. Farhadipour, and E. Ghahremanirad, "Enhanced photovoltaic properties of InAs/GaAs quantum-dot intermediate-band solar cells by using cylindrical quantum dots," *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol. 13, no. 1, pp. 271-277, 2018.
- [15] A. Vora, "Increasing solar energy conversion efficiency in thin film hydrogenated amorphous silicon solar cells with patterned plasmonic silver nano-disk array," PhD Thesis, Michigan Technological University, 2015.

Analysis and Simulation of Influence of The Silver Ribbon Nanoparticle's Dimensions and Refractive Index on The Efficiency of Plasmonic Amorphous Silicon Solar Cell

H. Afkham, S. Olyae^{*}, E. Sharif kazemi

Shahid Rajae Teacher Training University

(Received: 19/04/2019, Accepted: 22/06/2019)

Abstract

In this paper, the effects of silver ribbon nanoparticle dimensions and the refractive index of the environment on silicon solar cell performance are investigated and analyzed. By changing the dimensions of nanoparticles and altering the refractive index, important parameters such as efficiency are simulated with finite-difference time-domain (FDTD) method. Also, the solar cell performance is investigated with and without nanoparticles. By changing the nanoparticle dimensions, the optimum case to achieve maximum efficiency is obtained. The influence of changes in refractive index of the environment from 1 (air) to 1.6 on the performance of the solar cells and the coupling profile are also studied. The simulation results reveal that the efficiency of 12.45 is obtained by selecting a refractive index of 1.2.

Keywords: Efficiency, Solar Cell, Amorphous Silicon, Silver Ribbon Nanoparticle

* Corresponding author E-mail: s_olyaee@sru.ac.ir